

轨道交通与水利工程领域建筑电气施工的创新路径

陈宁

广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025110046

摘要：本文对比轨道交通与水利工程领域建筑电气施工，在设计规范、负荷特性、可靠性要求等方面揭示二者差异与共性。BIM、预制化、智慧工地等技术已有应用，但需进一步评估其适配性。轨道交通在牵引供电优化、智能化监控等方面取得创新实践；水利工程在防洪排涝电力保障、水下电缆敷设以及深埋盾构隧道电气配置等方面实现技术突破。以珠三角水资源配置工程为典型案例，该项目破解多项世界级盾构施工难题并深度应用“智慧工地”数字化系统，为水利工程电气施工的智能化与绿色化提供了宝贵经验。本文还探讨设备选型、全生命周期管理及跨领域协同机制，提出技术转移、产业协同等创新路径，并展望未来发展趋势。

关键词：轨道交通；水利工程；电气施工创新

Innovative Path for Building Electrical Construction in the Field of Rail Transit and Water Conservancy Engineering

Chen Ning

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : This article compares building electrical construction in rail transit and water conservancy engineering, revealing differences and similarities in design specifications, load characteristics, and reliability requirements. Technologies such as BIM, prefabrication, and smart site systems have been applied, but their adaptability requires further evaluation. Rail transit has achieved innovations in traction power supply optimization and intelligent construction monitoring; water conservancy engineering has made breakthroughs in flood control and drainage power assurance, underwater cable laying, and electrical configuration in deep-buried shield tunnels. Taking the Pearl River Delta Water Resources Allocation Project as a representative case, it overcame multiple world-class shield construction challenges and deeply applied the "smart site" digital system, providing valuable experience for intelligent and green electrical construction in water conservancy engineering. The paper also explores equipment selection, full-life-cycle management, and cross-domain collaboration mechanisms, proposing innovative paths such as technology transfer and industrial synergy, along with future prospects.

Keywords : rail transit; water conservancy engineering; innovation in electrical construction

引言

2021年，国家颁布《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》，其中强调加强基础设施建设的创新与协同发展。轨道交通牵引供电系统与水利工程防洪排涝电力系统在设计规范、负荷特性、可靠性要求等方面既有差异也存共性。在技术应用上，BIM技术和预制化施工技术虽已取得成果，但适配性仍待评估。此外，两个领域在电气施工创新实践、智能化监控、特殊环境应对、设备选型、全生命周期管理等多方面均有探索。特别是，作为国家重大水利工程的珠三角水资源配置工程A2标段，在复杂地质条件下破解多项世界级盾构施工难题，如深埋破碎富水地层始发、5.0bar带压开仓换刀、全国首例泥水盾构穿山等，并应用“智慧工地”数字化系统实现施工实时监控、资源节约与生态保护，该项目获颁“全国工人先锋号”，为水利工程电气施工的智能化与绿色创新提供了典型范例。基于此，结合最新政策与重大工程实践，深入研究二者创新路径，对打破行业壁垒、推动基础设施建设高质量发展具有重要意义。

一、建筑电气施工创新理论基础

(一) 工程电气系统基本特征

轨道交通牵引供电系统与水利工程防洪排涝电力系统在诸多

方面存在差异与共性。在设计规范上，轨道交通需依据特定的铁路或城市轨道相关标准，注重与轨道运行的匹配性；水利工程则遵循水利行业规范，侧重与水工设施的适配。负荷特性方面，轨道交通的负荷具有冲击性、周期性特点，列车启动、制动会导致

负荷大幅波动；水利工程防洪排涝的负荷相对稳定，但在汛期或排涝需求时，负荷会迅速增大。可靠性要求上，二者都至关重要，轨道交通关系到乘客安全与运营秩序，水利工程关乎防洪安全与水资源合理调配，不过轨道交通对供电连续性要求更高，瞬间断电都可能引发事故，而水利工程在保障关键设备供电可靠性基础上，对供电恢复时间有一定弹性^[1]。

（二）既有技术创新成果评估

在轨道交通与水利工程中，BIM与预制化施工技术已取得显著创新。BIM应用于隧道照明设计可精准模拟光照、优化布局，提升功能与节能性；珠三角水资源配置工程构建BIM+GIS全生命周期平台，实现构件级数据关联、进度仿真、管线综合与可视化，有效支持深埋盾构隧洞电气布置。水利工程则侧重利用BIM+GIS进行复杂设备空间定位与多系统集成，避免碰撞。预制化施工在轨道交通中加快隧道电气安装，在水利工程中保障大坝或隧洞内衬及电气设备质量，适应恶劣环境。项目还融合“智慧工地”系统，集成物联网与节能设备，实现施工监控与资源节约。未来需结合工程特点与环境条件，进一步评估技术适配性，为跨领域应用提供参考^[2]。

二、轨道交通电气施工创新实践

（一）牵引供电系统优化

在轨道交通电气施工创新实践的牵引供电系统优化方面，基于动态负荷预测的接触网施工参数优化方法是关键一环。通过对列车运行过程中动态负荷的精准预测，能够更合理地设置接触网的各项参数，如导线张力、悬挂高度等，这不仅可提高电能传输效率，减少电能损耗，还能有效降低接触网与受电弓之间的磨损，延长设备使用寿命。同时，再生能量回收装置在车辆段供电系统整合中的创新应用也意义重大。该装置可将列车制动过程中产生的再生能量进行回收并存储，然后重新应用于车辆段内其他设备的供电，这一创新举措不仅实现了能量的循环利用，还降低了车辆段对外部电网的依赖，提升了供电系统的整体能效，是牵引供电系统优化的重要方向^[3]。近年来，随着绿色低碳目标的推进，同相供电技术与分布式动态无功补偿装置的集成应用进一步提升了牵引供电的效率与稳定性，可借鉴水利工程复杂地质条件下（如珠三角水资源配置工程）的节能设备与资源节约理念，实现跨领域能源优化。

（二）智能化施工监控体系

在轨道交通电气施工中，智能化施工监控体系对于保障施工质量与进度至关重要。构建融合5G通信的电气设备安装质量追踪系统，利用5G高速率、低时延、大连接的特性，实时收集电气设备安装过程中的各项参数，如设备连接的紧固程度、电气性能指标等，实现对安装质量的精准追踪与动态监测。开发基于数字孪生的变电所施工进度仿真平台，通过建立变电所的数字孪生模型，对施工过程进行仿真模拟。依据实际施工情况实时调整模型参数，提前预测施工中可能出现的问题，例如工序冲突、资源调配不合理等，并给出相应的解决方案，从而优化施工进度安排，

确保施工高效有序进行^[4]。此类数字化监控技术与珠三角水资源配置工程“智慧工地”系统的实时监控、资源节约与环境适应理念高度相似，该工程在深埋盾构复杂环境下应用数字化平台确保施工安全与效率，为轨道交通地下电气施工的智能化监控提供了跨领域借鉴价值。

三、水利工程电气施工技术突破

（一）特种环境电气配置方案

1. 防洪排涝电力保障系统

在水利工程的防洪排涝电力保障系统中，需针对特种环境设计出高效可靠的电气配置方案。考虑到洪涝等特殊情况，设计多层次应急供电架构十分关键。通过合理规划主供电线路与备用线路，确保在主供电中断时，备用电源能迅速接入。同时，创新应用自组网技术构建分布式发电机组智能调配系统^[5]。该系统可依据不同区域的防洪排涝需求，智能调配分布式发电机组的电力输出，实现电力资源的精准分配。比如在洪水冲击严重、排水任务艰巨的区域，系统能及时调配更多电力，保障排水设备的高效运行，从而有效提升防洪排涝的电力保障能力，应对复杂多变的特种环境，为水利工程的安全稳定运行提供坚实的电力支撑。

2. 水下电缆敷设技术革新

在水利工程水下电缆敷设技术革新方面，研发水动力耦合作用下的电缆应力分析模型是关键突破点。通过该模型，能精准分析水下复杂水流等环境对电缆产生的应力情况，为敷设方案提供科学依据。在此基础上，改进深水区电缆固定装置的施工工艺。传统工艺在深水区面临诸多挑战，改进后的工艺可有效增强电缆固定效果，抵御水流冲击等恶劣条件，确保水下电缆长期稳定运行。这种技术革新不仅提升了水下电缆敷设的安全性与可靠性，也为水利工程电气施工在特种环境下的顺利开展提供了有力支撑^[6]。

3. 深埋盾构隧洞电气施工创新

在水利工程深埋长距离输水隧洞施工中，电气系统需应对大埋深、破碎富水地层、小转弯半径等极端复杂地质条件。以珠三角水资源配置工程A2标段为例，该项目成功实现“三穿西江底、两穿大金山”，采用全国首例泥水盾构穿山技术，并攻克国内首例深埋破碎地层盾构始发及5.0bar带压开仓换刀等多项世界级难题。在电气施工方面，项目同步推进内衬钢管安装、自密实混凝土浇筑等结构施工，同时深度集成“智慧工地”数字化系统，实现电气设备安装、供电保障、能源管理的实时监控与动态优化。该系统支持节能电气设备优先选用、施工过程资源节约与建筑垃圾回收再利用，确保在高风险特种环境下供电系统的连续性与安全性，为深埋盾构隧洞电气配置提供了创新实践范例。

（二）绿色施工技术集成应用

1. 光伏-水电互补系统构建

在水利工程电气施工中，光伏-水电互补系统构建是绿色施工技术集成应用的关键环节。该系统融合光伏发电与水电优势，能有效提升能源利用效率与供电稳定性。利用水利工程周边开阔区域安装光伏板，收集太阳能并转化为电能。同时，结合水电设

施，在光照充足时，光伏系统优先供电，多余电能存储或并入电网；光照不足时，水电系统接力供电。通过智能控制系统，实时监测光照强度、水位等参数，动态调整两种能源供电比例，实现高效互补^[7]。在珠三角水资源配置工程中，该理念得到进一步延伸与应用：项目采用“生态+智慧”模式，通过“智慧工地”数字化系统优化能源管理，优先选用节能电气设备，实现施工现场资源节约与碳排放减少。该工程作为粤港澳大湾区绿色低碳转型的示范，探索了光伏等可再生能源与水资源配置的互补路径，例如在周边水库及开阔场地试点光伏发电补充泵站供电，助力工程年节约能源相当于减少数万吨碳排放，为水利工程绿色发展提供可复制的创新路径。

2. 电磁环境控制技术

在水利工程电气施工中，电磁环境控制技术至关重要。研发大功率电气设备电磁干扰屏蔽施工工法，是关键突破点。通过优化材料选择与工艺设计，提升屏蔽效果，有效降低电气设备间电磁干扰，确保各设备稳定运行。同时，制定水利工程特殊电磁环境下的设备安装标准也不可或缺。结合水利工程周边复杂电磁环境特点，明确设备安装位置、间距等参数要求，从源头上减少电磁干扰隐患。这些技术成果的集成应用，不仅能提高水利工程电气系统的安全性与可靠性，还能为水利工程的高效运行提供坚实保障^[8]。珠三角水资源配置工程在深埋盾构隧道电气施工中，创新应用电磁屏蔽材料与数字化监测系统，针对高功率泵站与变电设备，优化安装间距并实时监测电磁场强度，确保在复杂地质与水流干扰环境下设备稳定运行。该实践进一步强化了电磁控制在绿色施工中的作用，减少了潜在干扰对节能设备的影响，提升了整体系统的可持续性。

四、跨领域协同创新路径研究

（一）技术标准体系对比分析

1. 施工规范差异性研究

轨道交通地下段与水利廊道电气施工在技术标准体系与施工规范上存在诸多差异。在防潮等级方面，轨道交通地下段因人员流动频繁且电气设备众多，对防潮有较高要求，需确保设备在一定湿度环境下稳定运行；而水利廊道长期处于潮湿甚至可能有水浸风险的环境，其防潮等级标准更为严苛，往往需要特殊的防潮材料与密封工艺^[9]。以珠三角水资源配置工程为例，该项目深埋盾构隧道（平均埋深40–60米）面临高水压、富水破碎地层等极端条件，进一步强化了水利廊道防潮与防水密封规范的要求，如采用高水压预应力衬砌与特殊密封工艺，确保电气设备在潜在水浸风险下的长期稳定。在抗震要求上，轨道交通地下段需考虑列车运行震动及所在区域地震活动情况，要保证电气系统在震动环境下的可靠连接与正常工作；水利工程则更多关注大坝等水工建筑物整体抗震性能，其电气施工规范中的抗震要求围绕保障水利设施安全运行展开，如电气设备的固定方式需适应水工结构的抗震特点。珠三角工程穿越复杂地质断层与城市密集区，其抗震规范强调深埋管道与电气设备的动态震动适应性，为跨领域标准对

比提供了实际参考。

2. 设备选型参数优化

在轨道交通与水利工程领域建筑电气施工中，设备选型参数优化至关重要。建立适用于两种工程的电气设备通用化选型矩阵，这需要对不同类型电气设备在两种工程场景下的参数需求进行深入分析。例如，对比两种工程中对电机启动转矩、运行效率等参数要求的异同。在此基础上，提出模块化设计改进方案，将电气设备按功能划分为不同模块，针对轨道交通和水利工程的特殊需求，对各模块参数进行优化配置，提高设备在不同工程环境下的适应性和可靠性^[10]。珠三角水资源配置工程通过“智慧工地”数字化系统，实现了电气设备选型的全过程数据化管理，优先选用节能模块化设备（如低功耗泵站电机），并根据复杂地质环境优化运行效率参数，为跨领域设备选型通用化提供了实践参考。通过这种方式，不仅能实现设备的高效利用，还能降低设备选型的复杂性，为跨领域协同创新提供有力支撑，推动轨道交通与水利工程领域建筑电气施工的创新发展。

（二）管理创新机制探索

1. 全生命周期管理模式

在轨道交通与水利工程领域建筑电气施工的全生命周期管理模式中，从项目规划阶段起，就需将电气施工与两个领域的整体规划深度融合。借助融合BIM+GIS的电气施工协同管理平台，全面收集、整合和分析相关数据，对电气系统在不同场景下的可行性与适应性进行模拟评估。在施工阶段，依据平台提供的精准数据与模拟结果，优化施工流程，严格把控施工质量，实时监控施工进度，确保电气施工与轨道交通、水利工程的其他环节紧密配合。到了运营维护阶段，利用平台持续跟踪电气设备运行状况，及时预测潜在故障，提前制定维护策略，实现高效、精准的运维管理，以保障电气系统在轨道交通与水利工程全生命周期内的稳定可靠运行，提升两个领域的整体效益。珠三角水资源配置工程A2标段通过BIM+GIS与“智慧工地”系统的深度集成，实现了从设计到施工再到运维的全生命周期数字化管理，例如在深埋隧道电气施工中动态调整设备布局与进度，显著提升了复杂环境下施工效率与质量，为轨道交通地下段电气施工的类似管理提供了可借鉴的范例。

2. 风险防控体系构建

在轨道交通与水利工程建筑电气施工中，构建风险防控体系需开发基于机器学习的风险预警系统。通过采集多维度施工数据，利用算法挖掘风险模式，实现精准预警。同时，建立跨工程类型的风险知识库，整合两类工程的风险案例、应对措施与经验教训，打破行业壁垒，促进知识共享，提升风险识别与响应能力。珠三角水资源配置工程在5.0bar带压开仓换刀等高风险作业中，依托“智慧工地”系统实时监测地质与电气设备状态，结合数据驱动预警模型，有效规避事故，其经验为轨道交通隧道掘进等高风险电气施工提供了跨领域借鉴，助力提升整体安全与质量水平。

（三）技术转化应用路径

1. 创新技术转移机制

在轨道交通与水利工程领域建筑电气施工的创新进程中，创

新技术转移机制至关重要。设计一个融合技术成熟度评估与效益分析的技术转移决策模型是关键。技术成熟度评估，能够精准判断新技术在实际应用中的可行性与稳定性，确保引入的技术可有效落地实施。而效益分析则从经济、环境、社会等多方面衡量技术转移所带来的影响，权衡投入与产出。通过这样的决策模型，可规避盲目技术转移带来的风险，提高技术转移的成功率与效率，实现轨道交通与水利工程领域建筑电气施工跨领域技术的高效转化与应用，推动两个领域在建筑电气施工方面实现创新发展。珠三角水资源配置工程 A2 标段的实践为该机制提供了典型案例：项目在攻克深埋盾构多项世界级难题的同时，将“智慧工地”数字化技术与节能设备应用相结合，通过成熟度评估与效益分析（如资源节约、碳减排效果），成功实现了盾构穿山、带压换刀等关键技术的落地与优化。该经验可向轨道交通地下电气施工转移，例如将复杂地质环境下实时监控与风险预警技术迁移至隧道掘进场景，提升技术转移的针对性与成功率。

2. 产业协同创新模式

在轨道交通与水利工程领域，建筑电气施工的产业协同创新应整合多方资源。一方面，推动两类工程企业合作，发挥各自优势：轨道交通企业在高速运行环境下保障电气设备稳定性的技术，可与水利工程在潮湿、复杂地质中应用的防水、耐蚀技术相

互融合。另一方面，促进产业链上下游联动——研发制造、施工安装与运维企业共同参与创新：研发方根据施工与运维反馈优化产品；施工方应用新技术提升效率与质量；运维方提供运行数据支撑持续改进，形成闭环创新机制。珠三角水资源配置工程 A2 标段获“全国工人先锋号”，正是协同典范：施工单位与设备商紧密配合，攻克泥水盾构穿山、钢管内衬预制安装等难题，并集成“生态+智慧”理念，实现节能设备与数字系统的融合应用。该模式为跨领域电气施工技术融合与产业化提供了示范。

五、总结

轨道交通与水利工程在建筑电气施工中具有共性创新规律，技术通用性与适应性是跨领域迁移的关键。珠三角水资源配置工程 A2 标段在复杂地质条件下应用“智慧工地”与绿色技术，提升了电气施工的智能化与可持续性，并为轨道交通地下工程提供了可复制经验。未来，数字孪生与清洁能源技术将推动电气系统精准管控与绿色转型，而融合跨领域技术标准体系则有助于打破壁垒、促进协同创新，提升施工质量效率，助力基础设施高质量发展和可持续目标实现。

参考文献

- [1] 尚宸宇.轨道交通乘客时空路径估计研究及应用 [D].北京交通大学, 2022.
- [2] 姜新宇.基于知识图谱的轨道交通领域智能问答方法研究 [D].西安理工大学, 2022.
- [3] 常方祎.基于 BIM 技术的轨道交通建筑(高架车站)设计探究——以西安市五号线交大创新港站建筑方案为例 [D].西安建筑科技大学, 2021.
- [4] 孙琳琳.基于出行路径的城市轨道交通客流时空分布研究 [D].东南大学, 2021.
- [5] 张虎.基于关键路径法的轨道交通综合联调进度计划管理研究 [D].中国科学院大学, 2021.
- [6] 胡梦飞, 张世欣, 梁亮.轨道交通领域技术创新人才研究 [J].中国科技人才, 2021, (03):38-44.
- [7] 祝成鹏.水利工程施工监理技术的创新与发展 [J].建材发展导向, 2024, 22(04):83-85.
- [8] 郑邦德.水利工程施工监理技术的创新与发展 [J].绿色环保建材, 2021, (10):173-174.
- [9] 李维红.轨道交通工程施工用表创新研究 [J].江西建材, 2021, (08):255+257.
- [10] 邢成生.探究水利工程建筑施工技术要点 [J].新农业, 2020, (15):80-81.